

点火プラグのカーボン汚損の研究

著者	永倉 喜一郎
号	66
発行年	1968
URL	http://hdl.handle.net/10097/11015

氏 名 (本 籍)	永 倉 喜 一 郎 (福 島 県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 6 6 号
学位授与年月日	昭和44年1月8日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最 終 学 歴	昭和20年9月 東北帝国大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	点火プラグのカーボン汚損の研究
(主 査)	
論 文 審 査 委 員	教授 坪内 為 雄 教授 棚 沢 泰
	教授 大 塚 芳 郎 教授 五 味 丸 典
	教授 高 野 知 彦

論 文 内 容 要 旨

火花点火機関は高圧縮比，高速などによる高性能化が進み，燃焼室熱負荷も増大している。このような機関に使用される点火プラグは，温度が上昇して過早着火を起こし易くなるので，一般に点火プラグは耐過早着火性に重点をおいて製作されている。すなわち，点火プラグを熱放散の良い形状，構造，材質にすることによって，温度上昇をおさえる方法がとられている。しかるに，熱放散の良い点火プラグは，低速，低負荷運転の場合に温度が低下してカーボン汚損，鉛汚損を起こすようになる。実際に汚損によって廃棄される点火プラグの数量は，はなはだ多い。また，汚損を生じた点火プラグは着火が悪く，機関の燃焼が阻害される。しかるに，点火プラグの汚損に関する研究は少なく，とくにカーボン汚損についてはほとんど研究されていない。よって本研究は，カーボン汚損を解明して，今後の点火プラグの改良に資する目的をもってカーボン汚損の基

礎的性質を解明し、汚損度とその測定法を確立し、また点火プラグの温度分布、自己清浄温度と機関運転条件の関係などを解明したものである。

第1章は、緒論で点火プラグの汚損による障害、本研究の必要性、従来の研究などについて概説し、カーボン汚損を次のように分類した。

- a) 燃料カーボン汚損：燃料の性状、組成と機関運転条件によって起こる汚損。
- b) 潤滑油汚損：潤滑油の性状、組成と機関運転条件によって起こる汚損。
- c) 混合カーボン汚損：燃料カーボンと潤滑油の両汚損が混合して起こる汚損。

第2章は、汚損試験片装置による燃料カーボン汚損について述べている。すなわち、カーボン汚損にもっとも関係の深い燃料カーボン汚損の基礎的性質を、とくに円板状絶縁体で作った汚損試験片装置を燃焼室に装着し、その表面の円環状電極と中心電極間の電気抵抗をもって汚損の進行を検知する方法で調査したものである。運転中、汚損試験片の電気抵抗が変化し始めるときを汚損の起こり始めとし、これを汚損限界空気過剰率と名付けた。燃料種類と汚損限界空気過剰率の関係の例を示せば、第1表のようである。

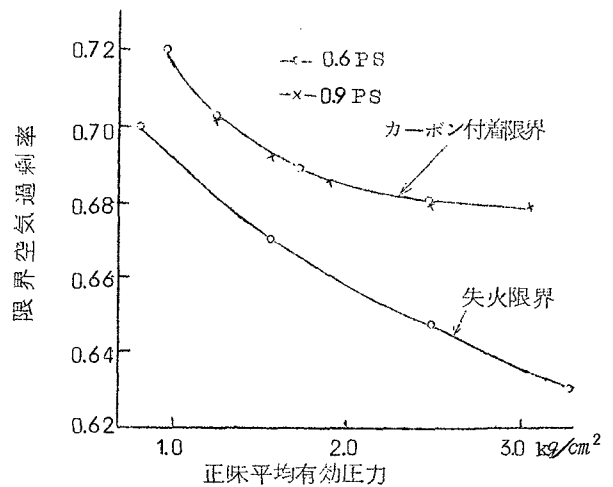
第1表 燃料と限界混合比の空気過剰率

	自動車用ガソリン 1 号	自動車用ガソリン 2 号	自動車用ガソリン 1 号で無鉛	工業用ガソリン 1 号 (無 鉛)
a	0.87	0.71	—	0.68
b	0.78	0.72 (0.69)	0.74	—
c	0.80	0.75 (0.70)	0.75	—

b社の自動車用ガソリン2号を例にとれば、空気過剰率0.69～0.72の範囲では灰黄色の鉛化合物が堆積し、同じく0.69以下では鉛化合物と燃料カーボンの混合物が堆積する。また、b社の添加剤を除去した自動車用ガソリン1号では、空気過剰率0.74以下で燃料カーボンが堆積する。

燃料カーボン付着、および失火の両限界空気過剰率と機関運転条件の関係は、第1図のようであることがわかった。

a社の工業用ガソリンを使用した場合、420℃以上の壁面には燃料カー



カーボン付着限界空気過剰率と運転条件

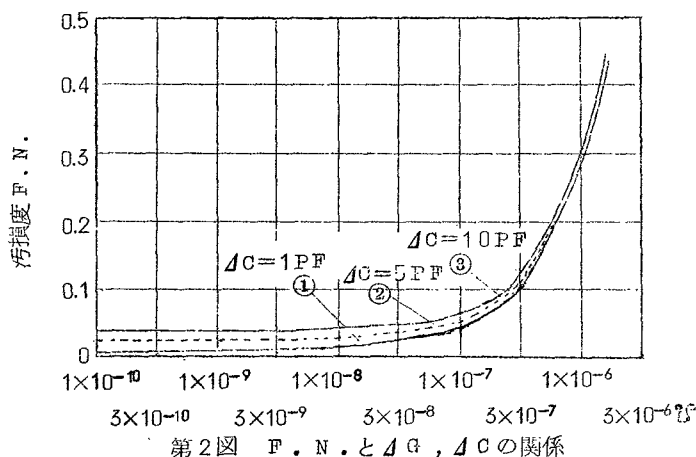
第1図

ボンは堆積しない。また、燃料カーボン付着限界より希薄な混合気によって運転した場合、堆積物は420℃以上では急速に消滅するが、420℃以下であれば消滅速度はおそいなどのことがわかった。

第3章では、点火プラグの汚損の測定と汚損度について述べている。単純化した点火回路において、汚損のない点火プラグと汚損した点火プラグをそれぞれ装着したときの二次端子電圧の比によって、点火プラグの汚損程度を表示する汚損度F・N・を導出した。F・N・の式中の常数は、国産の点火コイル5種類について測定した平均値をとり、汚損による点火プラグのコンダクタンスと静電容量の増加量をそれぞれ ΔG モー、 ΔC ファラッドとすればF・N・は次のようになる。

$$F \cdot N \cdot = 1 - \sqrt{\frac{134 \times 10^{-12}}{134 \times 10^{-12} + \Delta C}} e^{-5.8 \frac{\Delta G}{\sqrt{134 \times 10^{-12} + \Delta C}}}$$

この式から求めたF・N・と ΔG 、 ΔC の関係は第2図のようになる。汚損のない点火プラグのF・N・は零であり、8気圧、室温の空气中に置いた点火プラグの放電試験によると、F・N・が0.35～0.4以上の場合は放電が起こらない。



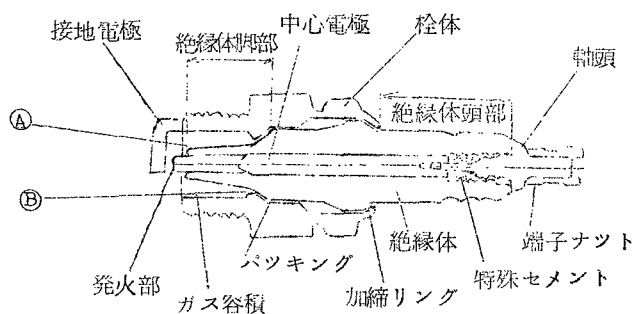
点火プラグの電氣的性質の周波数特性、および温度特性を調査した結果、カーボン汚損の汚損度は300Hz、室温で測定した ΔG 、 ΔC から算出することとした。

また、温度特性の測定の結果、燃料カーボンの堆積物は二種類あることがみとめられた。その一つは、燃焼火炎に直接接する部分に堆積するカーボンで堆積量も多く、電気炉内で400～475℃で消滅する。他の一つは、ガス中に浮遊するカーボンが堆積したもので堆積量は少なく、300～410℃で消滅する。汚損した点火プラグを加熱すれば、後者のカーボン剝離のため約300℃でその電氣的性質が急変する。また、これらの堆積物は、焼失するのではなくて加熱に

よって剝離して飛散するものであるなどの諸性質がわかった。

第4章は、点火プラグによる燃料カーボン汚損の実験について述べてある。すなわち、燃料カーボン汚損のみがあらわれ、潤滑油汚損の混入せぬよう短時間に汚損実験を行なう方法として低速、低負荷、濃厚混合気による5分間運転と高速、高負荷、希薄混合気による10分間運転の計15分間を1サイクルとして、6サイクル連続運転による汚損試験法を確立した。なお、燃料カーボンを堆積させるのが5分間運転であり、この間に燃焼室に流れ込んだ潤滑油を点火プラグの自己清浄温度以下で蒸発するのが10分間運転である。

この汚損試験法によって点火プラグの汚損度を比較した結果、製造会社によって汚損度は異なり、また同一会社のものでは、焼型より冷型のものが汚損度が小さいことがわかった。点火プラグの断面は、第3図に示すような形状であるが、図中のB部すなわち、絶縁体脚部のパッキン内側部分には、カーボン堆積が起こりにくく、この部分の堆積カーボンの多寡が点火プラグの汚損度に大きな比重をしめることがわかった。B部に堆積するカーボンは、(i)機関の燃焼圧力上昇中、ガス容積の入口よりも奥部の圧力が高くなる程、(ii)ガス中に浮遊するカーボン粒子を壁に付着させるようなガス流動がある程、(iii)ガス中のカーボン粒子を吸引するようなガス流動がある程多くなり、汚損度が大きくなることを明らかにした。



第3図 点火プラグ断面図

第5章は、潤滑油付着による点火プラグの汚損について述べてある。燃料による汚損と分離するため、燃料カーボン汚損が起こらぬような条件のもとで潤滑油のみによる点火プラグ汚損の実験を行なった。潤滑油は未使用のもの、機関で使用済みのもの、新造機関の摺り合わせ運転に使用したものなどについて調査したが、とくにその電氣的性質が劣化したものはなく、また潤滑油は長時間加熱した場合も、燃焼ガスにさらされた場合においても電氣的性質はあまり変化しな

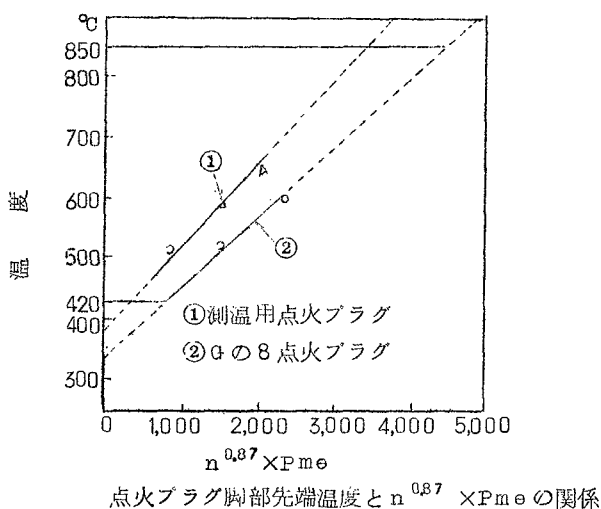
った。さらに、劣化した油を点火プラグに付着させて運転した場合も汚損度は大きくならず、潤滑油のみでは、点火プラグの汚損度は、大きくならないことがわかった。

第6章は、混合カーボン汚損について述べてある。すなわち、燃料カーボン汚損と潤滑油汚損が同時に起こる場合と、交互に起こる場合の点火プラグの汚損実験を行なった。両汚損が同時に起こる場合は、潤滑油単独汚損の場合と同様に、点火プラグの汚損度はあまり大きくならないことがわかった。しかるに、カーボン堆積、潤滑油付着、および高速高負荷運転の三者が交互にくりかえされる場合につき実験した結果、汚損が進行し失火を起こすような大きな汚損度となることがわかった。このような運転はあり得るので、はなはだしいカーボン汚損は、このような経過によって生ずるものであると推定される。

第7章においては、点火プラグの温度分布推定の結果について述べてある。点火プラグは運転中、常にその温度が自己清浄温度と過早着火温度の間にあることが望ましい。一般に、点火プラグの温度分布は、機関の運転条件によって異なるので、その測定は重要である。しかるに、絶縁体内部の温度を測定することはほとんど不可能であるから、電気抵抗回路網によって温度分布を推定した。なお、その際ガス温度と中心電極、外表面の温度とは実測によって定めた。

この方法により、断面形状がほぼ同じで中心電極の熱抵抗が異なる2本の点火プラグにつき、それぞれ各運転条件における温度分布、熱流分布を求めた。その結果、回転数を n rpm、正味平均有効圧力を Pme kg/cm² として運転条件を $Pme \cdot n^{0.87}$ であらわして整理すれば、運転条件と温度変化の関係が一つの直線であらわされることを明らかにした。

この方法であらわした運転条件と点火プラグ絶縁体脚部先端温度の関係は第4図のようであった。



第 4 図

図中aは、中心電極の熱抵抗の大きい点火プラグ、bは同じく抵抗の小さい点火プラグである。
 この図から、 $Pme \cdot n^{0.87}$ の値を求めれば自己清浄温度420℃に対して、aでは250、bでは750となり、過早着火温度850℃（仮定）に対して、aでは3,300、bでは4,500という運転条件を得る。

したがって、自己清浄温度以上で過早着火を起こさぬ点火プラグの温度範囲を、熱範囲H・R.と定義すれば、この数値を使って次のようになる。

$$a \text{ 点火プラグの H・R.} = \frac{3,300}{250}$$

$$b \text{ 点火プラグの H・R.} = \frac{4,500}{750}$$

このようになって、点火プラグが必要とする熱特性をすべて表示することができる。

第8章は、結論で以上の結果を要約したものである。

審 査 結 果 の 要 旨

火花点火機関は高圧縮比，高速により高性能化し，燃焼室熱負荷が増大している。かかる機関に使用される点火プラグは過早着火を起し易いので熱放散をよくし温度上昇を押えている。しかしこのようにすると，低速，低負荷運転時に温度が低下しカーボン汚損，鉛汚損を起し易くなる。汚損を生じた点火プラグでは失火を起して機関性能が低下し，甚だしい場合は運転不能になる。本研究は点火プラグ改良の目的をもって，従来未解決のカーボン汚損を解明し，汚損度とその測定法を確立し，また点火プラグの温度分布，自己清浄温度と機関運転条件の関係などを明らかにしたもので8章よりなっている。

第1章は緒論である。

第2章は円板状絶縁体で作った汚損試験装置によるカーボン汚損について述べたものである。即ち，これを燃焼室壁に装着し，表面に作った環状電極と，中心の熱電対を兼ねた電極の間の電気抵抗を測って汚損のはじまる空気過剰率とその壁面温度を定めた。これをカーボン附着限界空気過剰率と名付け，この限界値と正味有効平均圧力との関係を測定した。その結果，無鉛ガソリンでは，この値が0.74以下の濃厚混合気となればカーボン堆積が起こることを示した。また，附着カーボンの消失する自己清浄温度も測定した。

第3章は，点火プラグの汚損度と汚損測定の結果について述べたものである。すなわち，点火プラグの電極間のコンダクタンスと静電容量の増加量から汚損度を定義し，この値が0.34～0.4以上になると正常な放電が不可能となることを示した。

第4章は，点火プラグのカーボン汚損について述べたものである。短時間にカーボン汚損のみを生ずる機関運転法を見出し，この運転法によって測定した点火プラグの汚損度が製造会社により異なり，焼型より冷型の方がその値が小さいこと，プラグ絶縁体脚部の最深部のパッキング内側にカーボン堆積の起こりにくい部分があること，この部分の堆積カーボンの多少が点火プラグ汚損度を支配することを見出した。また，点火プラグのポケット部のガス容積の形状による汚損度の差を明らかにした。

第5章は，潤滑油の附着による点火プラグ汚損について述べたものである。この場合は汚損度はさほど大きくならないことを示した。

第6章は，混合カーボン汚損について述べたものである。カーボン堆積，潤滑油附着および高負荷運転が交互に繰り返えられるとき失火を起こす程大きい汚損を生ずることを見出し，実際運

転時における潤滑油の汚損助長効果を明らかにした。

第7章は、電気抵抗回路網を使って点火栓内の温度分布を求めたもので、点火プラグが自己清浄温度と過早着火温度の間にある運転条件を推定しうることを示した。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文は点火プラグのカーボン汚損の研究を行ない、点火プラグ改良の条件を提供したもので機械工学上寄与するところが少なくない。

よって本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。